燕麦干草与全株玉米青贮不同组合对绵羊瘤胃发酵的影响

张毕阳[1]　赵桂琴[1,2,3,4*]　焦　婷[1,2,3]　柴继宽[1,2]　苟智强[1]　许兴泽[1]　闫车太[1]

（1. 甘肃农业大学草业学院，兰州 730070；2.草业生态系统教育部重点实验室，兰州 730070；3.甘肃省草业工程实验室，兰州 730070；4.中-美草地畜牧业可持续研究中心，兰州 730070）

摘　要：本试验旨在明确燕麦干草与全株玉米青贮按不同比例组合对绵羊瘤胃发酵的影响。选用 9 头体重为(70.24±2.03) kg、体况相似且装有永久性瘤胃瘘管的杂种（美利奴♂×蒙古羊♀）公羊作为试验动物，按过渡期称重结果分成 3 组，每组 3 只。按燕麦干草和全株玉米青贮占粗饲料比例（干物质基础）将饲粮分为 A1（100%全株玉米青贮）、A2（50%全株玉米青贮+50%燕麦干草）和 A3（100%燕麦干草）3 种，3 种饲粮精粗比均为 35:65。采用 3×3 拉丁方设计，进行 3 期试验，每期 22 d（预试期 15 d，正试期 7 d），正试期最后 3 d 采样。结果显示：1）与 100%全株玉米青贮相比，以 50%全株玉米青贮+50%燕麦干草或 100%燕麦干草为粗饲料对绵羊瘤胃液 pH 和总氮浓度平均值没有产生显著影响（P>0.05），但显著降低了瘤胃液氨态氮（NH_3-N）、尿素氮和血清尿素氮浓度平均值（P<0.05），同时以 50%全株玉米青贮+50%燕麦干草为粗饲料还显著提高了瘤胃液蛋白氮浓度平均值（P<0.05）。此外，A2 组的瘤胃液 pH 和总氮浓度平均值稍高于 A3 组，瘤胃液蛋白氮浓度平均值较 A3 组增加了 8.97%，瘤胃液和血清尿素氮浓度平均值稍低于 A3 组，但差异均不显著（P>0.05），而瘤胃液 NH_3-N 浓度平均值则显著低于 A3 组（P<0.05）。2）粗饲料中燕麦干草的加入并未显著改变绵羊瘤胃液总挥发性脂肪酸浓度和丙酸摩尔比平均值，升高了瘤胃液乙酸、丁酸摩尔比以及乙酸/丙酸平均值，且 A3 组与 A1 组差异显著（P<0.05）。由此可知，在精料相同、精粗比为 35:65 的条件下，用 50%全贮玉米青贮和 50%燕麦干草混合作为粗饲料可以改善绵羊的瘤胃内环境而适宜瘤胃微生物生长，提高瘤胃微生物活性及其对氨（NH_3）的利用率，有助于微生物蛋白的合成，升高瘤胃乙酸的摩尔比及乙酸/丙酸。

关键词：燕麦干草；瘤胃发酵；pH；氮代谢；挥发性脂肪酸

中图分类号：S816　　　　文献标识码：A　　　　文章编号：

燕麦（*Avena sativa*）作为我国北方高海拔冷凉地区重要的饲草料来源，具有易于栽培、产草量高、适应性广等特点[1]，可用来生产优质的青干草，是奶牛和赛马的主要粗饲料[2]。燕麦干草的中性洗涤纤维含量低，并富含水溶性化合物（≥15%），具有很好的适口性[3-4]。随着我国畜牧业和养殖业的快速发展，燕麦干草已经成为反刍动物饲粮粗饲料的主要来源之一。中国海关数据统计显示，2016 年 1—11 月，我国燕麦干草的进口总量高达 19.86 万 t，同比增长 48.20%，已经连续 5 年以 25%以上的速度递增[5]。因此，研究燕麦干草作为粗饲料对反刍动物生产性能、消化代谢和瘤胃发酵的影响有着一定的学术价值和经济意义。Broderick 等[6]的研究表明，自然干燥的燕麦干草粗蛋白质有较高的瘤胃降解率。George 等[7]采用燕麦干草作为单一饲粮，分别用自由采食量的 60%、80%、100%和 120%饲喂肉牛，结果表明随着饲喂水平降低，试羊的氮排出和氮沉积显著下降。Long 等[8]报道，分别给牦牛饲喂其自由采食量 30%、60%和 90%的燕麦干草，试羊干物质消化率随着燕麦干草饲喂水平的升高而下降。Singh 等[9]采用燕麦干草饲粮饲喂杂交肉牛，燕麦干草水平从 95%下降到

收稿日期：2017-03-16
基金项目：现代农业产业技术体系（CARS-8-C1）
作者简介：张毕阳（1986-），男，江苏徐州人，博士研究生，研究方向为草地生物多样性。E-mail: 175332224@qq.com
*通信作者：赵桂琴，教授，博士生导师，E-mail: zhaogq@gsau.edu.cn

60%，肉牛瘤胃营养物质浓度变化不显著。梁晓兵等[10]研究表明，在饲粮中添加适量的燕麦干草能有效降低猪的血清尿素氮浓度。张瑛等[11]分别用燕麦干草饲粮自由采食量的 90%、70%、50%和 30%饲喂藏羊，发现限饲水平对绵羊瘤胃液的总挥发性脂肪酸浓度和丁酸摩尔比有显著影响。桑丹等[12]的奶牛体外发酵试验结果表明，燕麦干草的总挥发性脂肪酸浓度高出青贮玉米 40%，而乙酸和挥发性脂肪酸摩尔比均显著低于青贮玉米，说明燕麦干草的碳水化合物含量高，且在瘤胃发酵过程中被利用的比例大，对瘤胃发酵的调控更加有利。但是关于燕麦干草作为粗饲料对绵羊瘤胃发酵影响方面的研究鲜见报道。本研究拟将绵羊饲粮中燕麦干草与全株玉米青贮按不同比例组合，来研究其对绵羊瘤胃发酵的影响，筛选适宜的燕麦干草添加量，探索燕麦干草与绵羊瘤胃发酵特性的关系及其对绵羊瘤胃内环境的影响，为燕麦干草在绵羊养殖中的科学使用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验动物及饲粮

试验动物为 9 只安装有永久性瘤胃瘘管的杂种（美利奴♂×蒙古羊♀）公羊，羊体健康无任何疾病，平均体重为(70.24±2.03) kg，直肠测定的平均体温为 39.6 ℃。

以玉米、豆粕、棉籽粕、菜籽粕、石粉、预混料和食盐为精料，以燕麦青干草和全株玉米青贮不同比例组合为粗饲料，参照我国肉羊饲养标准（NY/T 816-2004）配制 3 种饲粮，其中 A1 的粗饲料为全株玉米青贮，A2 的粗饲料为 50%全株玉米青贮+50%燕麦干草，A3 的粗饲料为燕麦干草。饲粮精粗比均为 35:65。燕麦干草购自甘肃省甘南州夏河县永杰草畜有限公司，其他饲粮组分均来自甘肃省定西市临洮县华加牧业。饲粮风干后用微型植物粉碎机粉碎少量过 1 mm 筛的样品，供分析营养成分用。燕麦干草由铡草机铡成 2~3 cm 的小段，全株玉米青贮不做处理。燕麦干草和全株玉米青贮的营养成分对比见表 1，饲粮组成及营养水平见表 2。

表 1 燕麦干草和全株玉米青贮的营养成分对比（干物质基础）

Table 1 Comparison of nutritional components of oat hay and corn silage (DM basis) %

项目 Items	干物质 DM	粗蛋白质 CP	中性洗涤纤维 NDF	酸性洗涤纤维 ADF	木质素 Lignin	钙 Ca	磷 P
燕麦干草 Oat hay	85.48	10.04	56.28	36.88	6.23	0.40	0.27
全株玉米青贮 Whole corn silage	28.55	8.29	49.53	30.36	4.41	0.22	0.23

实测值 Measured values。

表 2 饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 2 Composition and nutrient levels of diets (DM basis) %

项目 Items	饲粮 Diets		
	A1	A2	A3
原料 Ingredients			
玉米 Corn	25.74	29.24	30.42
豆粕 Soybean meal	2.34	1.75	1.18
棉籽粕 Cotton seed meal	2.34	1.17	0.58
菜籽粕 Rape seed meal	2.34	1.17	0.58
全株玉米青贮 Whole corn silage	65.50	32.75	

燕麦干草 Oat hay		32.75	65.50
食盐 NaCl	0.58	0.58	0.58
石粉 Mineral meal	0.58	0.58	0.58
添加剂预混料 Additive premix[1)]	0.58	0.58	0.58
合计 Total	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]			
消化能 DE/(MJ/kg)	18.39	18.29	18.01
粗蛋白质 CP	10.27	10.34	10.63
中性洗涤纤维 NDF	58.43	61.12	64.74
酸性洗涤纤维 ADF	38.22	38.54	38.78
钙 Ca	0.37	0.35	0.36
总磷 P	0.28	0.29	0.31

[1)]预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets：VA 220 000 IU，VE 2 000 IU，VD3 72 000 IU，烟酰胺 nicotinamide 2 000 mg，*D*-生物素 *D*-biotin 40 mg，Mn (as manganese sulfate) 710 mg，Fe (as ferrous sulfate) 830 mg，Zn (as zinc sulfate) 2 005 mg，Cu (as copper sulfate) 680 mg，Co(as cobalt sulfate) 12 mg。

[2)]实测值 Measured values。

1.2 试验设计与饲养管理

试验于 2014 年 11 月至 2015 年 3 月在甘肃省定西市临洮县华加牧业牧场进行。采用 3×3 拉丁方设计，9 只试验羊按过渡期称重结果分成 3 组，每组 3 只。共进行 3 期饲喂试验，各组试验羊分期饲喂上述 3 种饲粮。每期预试期 15 d，正试期 7 d。试验羊由饲养员单独饲喂，按精粗比例将提前用粉碎机粉碎的精料与铡草机铡碎的燕麦干草及全株玉米青贮均匀混合揉丝，以保证绵羊按饲粮的组成比例采食。每天喂料 2 次（分别在 08:00 和 18:00），保证采食 4 h，试验羊自由饮水。试验设计见表 3。

表 3 试验设计

Table 3 Experimental design

项目 Items	1~3 号羊 Sheep No.1 to 3	4~6 号羊 Sheep No.4 to 6	7~9 号羊 Sheep No.7 to 9
第 1 期 Period Ⅰ	A1	A2	A3
第 2 期 Period Ⅱ	A2	A3	A1
第 3 期 Period Ⅲ	A3	A1	A2

1.3 样品采集

1.3.1 剩料的收集

每期试验正试期的最后 3 d 分别在早、晚饲喂前逐头测定投料量，保证绵羊充分采食后将剩料收集到铝盒中带回实验室保存。

1.3.2 瘤胃液的采集

每期试验正试期的最后 1 d，分别在 07:30（食前）、09:00（食后 1 h）、11:00（食后 3 h）、13:00（食后 5 h）、15:00（食后 7 h），通过瘤胃瘘管从每只试验羊的瘤胃中抽取瘤胃液 60 mL 放入保温桶中，立即测定并记录瘤胃液 pH；经 4 层纱布过滤，然后收集到采样

试管，加入 1.5 mL 预先配制好的饱和氯化汞($HgCl_2$)溶液灭酶后，立刻放入−20 ℃冰箱中冷冻保存。

1.3.3 血液的采集

采集瘤胃液的同时，在试验羊颈静脉处用真空采血管（含抗凝剂乙二胺四乙酸二钾盐）采血约 10 mL，3 500 r/min 离心 10 min，制备血清，血清放入盛有冰块的泡沫盒中，立刻带回实验室进行血清尿素氮浓度测定。

1.4 指标测定

1.4.1 干物质采食量的测定

剩料在 65 ℃烘箱中烘 20 h 后测定干物质含量，计算剩料干物质量并计算出试验羊的干物质采食量。

1.4.2 瘤胃液 pH 的测定

采用 HI98103 型高精度笔式酸度计（北京泰亚赛福公司）测定瘤胃液 pH。

1.4.3 瘤胃液总氮浓度的测定

采用半微量凯氏定氮法[13]测定瘤胃液总氮浓度。

1.4.4 瘤胃液氨氮（NH_3-N）浓度的测定

采用冯宗慈[14]改进的比色法测定瘤胃液 NH_3-N 浓度。

测定所得标准曲线方程为 Y=0.578X（R^2=0.998）。式中：X 为 NH_3-N 质量（mg）；Y 为吸光度值。测定时瘤胃液取样量为 0.4 mL。

1.4.5 瘤胃液尿素氮和血清尿素氮浓度

采用二乙酰−肟法（试剂盒购于南京建成生物工程研究所）测定瘤胃液尿素氮和血清尿素氮浓度。

1.4.6 瘤胃液蛋白氮浓度的计算

瘤胃液蛋白氮浓度（mg/dL）=瘤胃液总氮浓度（mg/dL）－瘤胃液尿素氮浓度（mg/dL）－瘤胃液 NH_3-N（浓度 mg/dL）。

1.4.7 瘤胃液挥发性脂肪酸（VFA）组成的测定

采用安捷伦 1260 高效液相色谱测定总挥发性脂肪酸（TVFA）浓度及乙酸（acetic，AA）、丙酸（propionic，PA）及丁酸（butyric，BA）摩尔比。色谱条件为：SB-AQ C_{18} 色谱柱（4.6 mm×250 mm）；流动相 A（甲醇）：流动相 B（0.01 mol/L 磷酸氢二铵，pH=2.70）=3:97，流速 1 mL/min，进样量 20 μL，检测波长 210 nm，柱温 25 ℃[15]。

1.5 数据处理与分析

所有数据用 Excel 2013 进行预处理后，用 SPSS 17.0 软件进行单因素方差分析，用 Turkey 法进行多重比较，差异显著性判断标准为 P<0.05。

2 结果与分析

2.1　燕麦干草与全株玉米青贮不同组合下绵羊干物质采食量的变化

由表 4 可知，饲粮中燕麦干草与全株玉米青贮的添加比例对绵羊的干物质采食量没有产生显著的影响（P>0.05），但是从干物质采食量平均值可以看出 50%全贮玉米青贮+50%燕麦干草组合有提高绵羊干物质采食量的趋势。

表 4　燕麦干草与全株玉米青贮不同组合对绵羊干物质采食量的影响

Table 4　Effects of different combinations of oat hay and corn silage on dry matter intake of sheep　kg/d

组别 Groups	第 1 期 Period Ⅰ	第 2 期 Period Ⅱ	第 3 期 Period Ⅲ	平均值 Mean
A1	1.63±0.03	1.62±0.02	1.63±0.03	1.62±0.02
A2	1.67±0.03	1.66±0.03	1.66±0.02	1.66±0.02
A3	1.64±0.01	1.66±0.04	1.65±0.03	1.65±0.03

同列数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著(P>0.05)，不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。下表同。

In the same column, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (P>0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05). The same as below.

2.2　燕麦干草与全株玉米青贮不同组合下绵羊瘤胃液 pH 的变化

由表 5 可知，各组绵羊采食后瘤胃液 pH 较采食前明显下降，采食后 3 h 瘤胃液的 pH 下降至最低，随着采食后时间的延长，3 组绵羊瘤胃液的 pH 逐渐上升。3 组绵羊采食前瘤胃液 pH 差异不显著；采食后 1 和 3 h 瘤胃液 pH 均以 A2 组最高，显著高于 A1 组（P<0.05）；采食后 5 h 瘤胃液 pH 以 A3 组最高，显著高于 A1 组（P<0.05）；其他时间点瘤胃液 pH 以及瘤胃液 pH 平均值各组之间无显著差异(P>0.05)。由表 5 中数据可以看出，尽管采食前 A2 组的瘤胃液 pH 稍低于 A1 组，其采食后各个时间点的瘤胃液 pH 均较高，平均值最高。

表 5　燕麦干草与全株玉米青贮不同组合对绵羊瘤胃液 pH 的影响

Table 5　Effects of different combinations of oat hay and corn silage on pH in ruminal fluid of sheep

组别 Groups	采食前 Before feeding	采食后 After feeding 1 h	3 h	5 h	7 h	平均值 Mean
A1	6.67±0.07	5.87±0.07^{b}	5.74±0.08^{b}	5.96±0.07^{b}	6.15±0.10	6.10±0.08
A2	6.65±0.07	6.10±0.04^{a}	6.08±0.09^{a}	6.10±0.03^{ab}	6.31±0.06	6.24±0.06
A3	6.39±0.08	6.08±0.07^{ab}	6.02±0.07^{a}	6.14±0.03^{a}	6.27±0.05	6.19±0.06

2.3　燕麦干草与全株玉米青贮不同组合下绵羊瘤胃液总氮浓度的变化

由表 6 可知，采食后瘤胃液总氮浓度较采食前迅速增加，随着采食后时间的延长，各组绵羊瘤胃液总氮浓度呈现波动变化：A1 组在采食后 3 h 达到峰值后迅速下降，在采食后 5 h 降至最低，然后逐渐回升；A2 组在采食后 1 h 达到峰值后逐渐下降，在采食后 5 h 降至最低，然后逐渐回升；A3 组也是在采食后 1 h 达到峰值，但在采食后 3 h 即降至最低，然后逐渐回升。A1 和 A3 组的瘤胃液总氮浓度在采食后 7 h 基本恢复到采食前水平，而 A2 组则较采食前增加了 19.29%，同时 A2 组还显著高于 A1 组（P<0.05）。另外，A2 组的瘤胃液总氮浓度

平均值也最高，为 144.61 mg/dL，分别较 A1 和 A2 组高 9.49%和 6.66%，但差异不显著(P>0.05)。

表 6　燕麦干草与全株玉米青贮不同组合对绵羊瘤胃液总氮浓度的影响

Table 6　Effects of different combinations of oat hay and corn silage on total nitrogen concentration in ruminal fluid of sheep　　mg/dL

组别 Groups	采食前	采食后 After feeding				平均值
	Before feeding	1 h	3 h	5 h	7 h	Mean
A1	125.04±15.29	138.97±7.07[b]	148.04±11.85[a]	119.77±14.17	128.56±12.89[b]	132.08±8.21
A2	129.64±11.05	165.84±9.93[a]	149.61±11.65[a]	123.29±11.67	154.65±8.38[a]	144.61±7.56
A3	135.57±11.32	145.66±14.26[ab]	124.22±12.57[b]	132.28±14.75	140.17±10.89[ab]	135.58±5.36

2.4　燕麦干草与全株玉米青贮不同组合下绵羊瘤胃液 NH_3-N 浓度的变化

由表 7 可知，采食后绵羊瘤胃液 NH_3-N 浓度较采食前迅速上升，各组绵羊均在采食后 1 h 即达到峰值，然后逐渐下降，在采食后 5 h 降至最低点后回升。从瘤胃液 NH_3-N 浓度平均值可以看出，粗饲料中燕麦干草的加入使得 NH_3-N 浓度显著降低(P<0.05)，且以 50%燕麦干草和 50%全贮玉米青贮为粗饲料的 A2 组最低，为 11.54 mg/dL，分别较 A1 和 A3 组低 37.44%和 11.96%，差异显著(P<0.05)。

表 7　燕麦干草与全株玉米青贮不同组合对绵羊瘤胃液氨氮浓度的影响

Table 7　Effects of different combinations of oat hay and corn silage on NH_3-N concentration in ruminal fluid of sheep　　mg/dL

组别 Groups	采食前	采食后 After feeding				平均值
	Before feeding	1 h	3 h	5 h	7 h	Mean
A1	14.01±0.75[a]	26.56±2.67[a]	16.53±1.89[a]	9.56±0.57[a]	12.64±0.36[a]	15.86±0.48[a]
A2	12.60±0.78[b]	19.40±1.00[c]	9.38±0.55[c]	7.08±0.35[b]	9.24±0.34[b]	11.54±0.37[c]
A3	12.89±0.57[ab]	23.34±0.98[b]	12.46±0.62[b]	6.62±0.34[b]	9.50±0.31[b]	12.96±0.34[b]

2.5　燕麦干草与全株玉米青贮不同组合下绵羊瘤胃液尿素氮浓度的变化

由表 8 可知，3 组绵羊的瘤胃液尿素氮浓度变化基本一致，即采食后开始降低，在采食后 3 或 5 h 降至最低点，然后逐渐回升。饲粮中添加燕麦干草的 A2 和 A3 组瘤胃液尿素氮浓度的平均值显著低于未添加燕麦干草的 A1 组（P<0.05）。

表 8　燕麦干草与全株玉米青贮不同组合对绵羊瘤胃液尿素氮浓度的影响

Table 8　Effects of different combinations of oat hay and corn silage on urea nitrogen concentration in ruminal fluid of sheep　　mg/dL

项目	采食前	采食后 After feeding				平均值
Items	Before	1 h	3 h	5 h	7 h	Mean

	feedingBefore meal					
A1	3.22±0.67[a]	2.65±0.51[a]	2.10±0.24[a]	2.29±0.53[a]	3.36±0.66[a]	2.72±0.04[a]
A2	2.55±0.38[b]	2.15±0.29[b]	1.78±0.37[b]	1.49±0.60[b]	2.36±0.50[b]	2.07±0.29[b]
A3	2.69±0.45[b]	2.21±0.18[b]	1.89±0.17[b]	2.23±0.30[a]	3.06±0.51[a]	2.41±0.09[b]

2.6　燕麦干草与全株玉米青贮不同组合下绵羊瘤胃液蛋白氮浓度的变化

由表 9 可知，各组绵羊瘤胃液蛋白氮浓度变化动态不尽相同：A1 组瘤胃液蛋白氮浓度在采食后 1 h 无明显变化，在采食后 3 h 上升至最高值，然后逐渐下降；A2 组瘤胃液蛋白氮浓度在采食后 1 h 即迅速上升至峰值，然后开始下降，在采食后 5 h 降至最低，然后又迅速上升；A3 组瘤胃液蛋白氮浓度总体变化趋势较平缓。从瘤胃液蛋白氮浓度平均值可以看出，粗饲料中燕麦干草的加入使得瘤胃液蛋白氮浓度显著增加（P<0.05），且以 50%全贮玉米青贮和 50%燕麦干草为粗饲料的 A2 组最高，为 131.06 mg/dL，较 A1 和 A3 组分别高出 16.58%（P<0.05）和 9.03%（P>0.05）。

表 9　燕麦干草与全株玉米青贮不同组合对绵羊瘤胃液蛋白氮浓度的影响

Table 9　Effects of different combinations of oat hay and corn silage on protein nitrogen concentration in ruminal fluid of sheep　mg/dL

项目 Items	采食前 Before feeding	采食后 After feeding 1 h	3 h	5 h	7 h	平均值 Mean
A1	107.81±15.58	106.42±10.15[c]	129.41±13.14[b]	107.92±14.81[b]	110.57±12.87[c]	112.42±8.47[b]
A2	114.49±10.60	144.30±10.36[a]	138.45±11.67[a]	114.71±12.22[ab]	143.05±10.81[a]	131.06±7.96[a]
A3	119.99±11.47	120.11±13.36[b]	109.88±12.72[c]	123.44±14.19[a]	127.61±11.06[b]	120.20±5.26[ab]

2.7　燕麦干草与全株玉米青贮不同组合下绵羊血清尿素氮浓度的变化

由表 10 可知，各组绵羊血清尿素氮浓度的变化趋势基本一致，采食后血清尿素氮浓度开始上升，在采食后 3 h 达到峰值，然后逐渐下降。从血清尿素氮浓度平均值可以看出，与不含燕麦干草的 A1 组相比，含燕麦干草的 A2 和 A3 组绵羊的血清尿素氮浓度平均值显著下降（P<0.05）。

表 10　燕麦干草与全株玉米青贮不同组合对绵羊血清尿素氮浓度的影响

Table 10　Effects of different combinations of oat hay and corn silage on urea nitrogen concentration in serum of sheep　mg/dL

项目 Items	采食前 Before feeding	采食后 After feeding 1 h	3 h	5 h	7 h	平均值 Mean
A1	9.33±0.37	11.53±1.56[a]	12.81±1.30[a]	12.51±1.10[a]	11.32±0.67[a]	11.50±0.97[a]
A2	8.60±0.10	9.19±0.27[b]	10.36±0.12[b]	8.06±0.21[c]	6.68±0.20[c]	8.58±0.13[b]
A3	9.07±0.96	10.15±1.05[b]	10.44±0.17[b]	9.25±1.18[b]	8.24±1.18[b]	9.43±0.81[b]

2.8　燕麦干草与全株玉米青贮不同组合下绵羊瘤胃液 VFA 组成的变化

由表 11 可知，绵羊瘤胃液各个时间点的 TVFA 浓度及丙酸摩尔比及其平均值在 3 个组间没有显著差异(P>0.05)；A3 组乙酸和丁酸的摩尔比平均值显著高于 A1 组（P<0.05）；其他酸的摩尔比平均值以 A1 组最高，显著高于其他 2 组（P<0.05）。和采食前相比，采食后 1 h 乙酸/丙酸就急剧下降，然后逐渐回升，到采食后 7 h 回升至采食前水平。从瘤胃液乙酸/丙酸平均值看，以 A3 组最高，且显著高于 A1 和 A2 组（P<0.05）。

表 11　燕麦干草与全株玉米青贮不同组合对绵羊瘤胃液 VFA 组成的影响

Table 11　Effects of different combinations of oat hay and corn silage on VFA composition in ruminal fluid of sheep

项目 Items	组别 Groups	采食前 Before feeding	采食后 After feeding				平均值 Mean
			1 h	3 h	5 h	7 h	
总挥发性脂肪酸 TVFA/（mmol/L）	A1	60.28±3.07	70.64±6.91	74.63±3.46	69.24±3.82	64.84±2.12	67.93±0.93
	A2	60.29±5.04	72.65±3.19	72.29±5.68	68.36±1.00	63.20±6.33	67.36±3.06
	A3	57.35±3.10	67.59±4.01	68.89±3.85	63.45±3.73	60.09±2.26	63.48±1.30
乙酸 Acetic/%	A1	62.56±1.19^{b}	53.31±1.72	61.89±2.60	61.15±1.89^{b}	64.52±1.19	60.59±1.03^{b}
	A2	66.01±1.39^{a}	54.79±2.80	63.42±3.12	63.60±3.10^{ab}	66.49±2.90	62.86±0.87^{ab}
	A3	66.67±0.63^{a}	55.54±1.09	65.24±3.39	65.96±1.13^{a}	67.64±0.42	64.21±0.49^{a}
丙酸 Propionic/%	A1	20.09±0.64	30.48±1.04	22.91±1.79	21.53±0.58	21.02±0.95	23.20±0.08
	A2	19.51±1.11	30.02±0.53	23.62±1.19	20.65±0.72	20.50±1.29	22.86±0.37
	A3	18.58±0.58	29.67±2.52	22.03±2.49	20.39±1.09	18.88±0.99	21.91±1.00
丁酸 Butyrate/%	A1	11.35±0.40^{b}	11.08±0.49^{b}	11.85±0.88^{a}	11.76±0.48^{b}	11.79±0.51^{b}	11.60±0.35^{b}
	A2	11.14±0.53^{b}	10.89±0.38^{b}	11.53±0.46^{a}	11.91±0.37^{ab}	12.17±0.43^{ab}	11.53±0.28^{b}
	A3	12.88±0.43^{a}	12.79±0.46^{a}	10.25±0.41^{b}	12.77±0.53^{a}	13.13±0.54^{a}	12.36±0.19^{a}
其他酸 Other acids/%	A1	5.50±0.54^{a}	4.97±0.24^{a}	3.52±0.59^{a}	5.06±0.69^{a}	3.17±0.71^{ab}	4.44±0.13^{a}
	A2	4.14±0.57^{ab}	5.02±0.21^{a}	2.44±0.52^{b}	3.84±0.64^{a}	2.17±0.50^{b}	3.52±0.21^{b}
	A3	4.30±0.54^{b}	3.10±0.75^{b}	2.78±0.34^{ab}	2.84±1.75^{b}	2.32±0.37^{a}	2.61±0.20^{c}
乙酸/丙酸 Acetate/propionate	A1	3.12±0.14^{b}	1.75±0.11	2.72±0.31	2.84±0.15^{b}	3.05±0.08^{b}	2.70±0.05^{b}
	A2	3.39±0.15^{ab}	1.82±0.06	2.69±0.21	3.08±0.17^{ab}	3.25±0.07^{a}	2.85±0.02^{b}
	A3	3.59±0.12^{a}	1.88±0.12	2.98±0.19	3.24±0.23^{a}	3.59±0.17^{a}	3.06±0.09^{a}

3 讨　论

3.1 燕麦干草与全株玉米青贮不同组合对绵羊干物质采食量和瘤胃液 pH 的影响

绵羊饲粮中添加不同比例的燕麦干草与全株玉米青贮对干物质采食量没有显著影响，但从 3 期数据的平均值可以看出，加入燕麦干草后绵羊干物质采食量有增加的趋势。瘤胃液 pH 是反映瘤胃发酵水平的一个重要指标，通过对它的测定可以直观的评定瘤胃内环境的相对稳定程度[16]。瘤胃液 pH 是饲粮类型、瘤胃缓冲液、唾液、瘤胃内酸碱物质的消化和排出以及水等因素之间相互作用的结果[17]。一般情况下瘤胃液 pH 变化范围在 5.00~7.50[18]。本试验中，3 组绵羊瘤胃液 pH 的变化范围在 5.74~6.67，平均值在 6.20 左右，变化规律均为采食后先下降后上升，在采食后 3~5 h 降至最低点，这可能是由于饲粮进入瘤胃后，瘤胃微生物对其中的碳水化合物进行降解，所产生的 VFA 导致瘤胃液 pH 下降，而随着碳水化合物被消化以及瘤胃壁对 VFA 的吸收，再加上试验羊唾液缓冲液的稀释，瘤胃液 pH 又逐渐回

升。韩昊奇等[19]的研究显示，给奶山羊饲喂不同非纤维性碳水化合物（NFC）/中性洗涤纤维（NDF）比例的饲粮，采食后各组试验羊瘤胃液的 pH 下降，3~6 h 降至最低后回升，瘤胃液 pH 变化范围在 5.30~6.84。王洪亮等[20]报道，用不同类型的粗饲料饲喂肉牛，各组试验牛瘤胃液 pH 均在采食后下降，2~4 h 降至最低点后逐渐回升到采食前水平。本研究也得到类似的结果，各组间的瘤胃液 pH 平均值没有显著差异，表明在 30%~50%精料水平条件下改变粗饲料的类型不会对瘤胃液 pH 造成较大影响[21-22]。

Mound 等[23]报道，当瘤胃液 pH 在 6.00 以上时瘤胃内的纤维分解菌才会有活力。Φrskov 等[24]也指出，较高的瘤胃液 pH 适合纤维分解菌的繁殖及瘤胃微生物合成蛋白质。周瑞等[25]用燕麦干草代替玉米青贮饲喂绵羊，发现燕麦干草与玉米青贮混合组的 3 种纤维分解菌的数量高于玉米青贮组，有利于瘤胃内环境的稳定和调控。本研究中，的绵羊瘤胃液 pH 平均值高于以 100%燕麦干草或 100%全贮玉米青贮为粗饲料的绵羊，说明以 50%全株玉米青贮和 50%燕麦干草为粗饲料更利于瘤胃微生物生长和瘤胃内环境的稳定。

3.2 燕麦干草与全株玉米青贮不同组合对绵羊瘤胃氮代谢的影响

饲粮中的蛋白质需要经过瘤胃内复杂的氮代谢被瘤胃微生物降解，最终合成微生物蛋白才能被动物体吸收。因此，反刍动物瘤胃氮代谢水平与瘤胃发酵程度密切相关。瘤胃中氮的主要来源是饲粮中蛋白质的降解[26]，主要包括尿素氮、NH_3-N 和蛋白氮[27]。影响瘤胃液总氮浓度的主要因素是动物食入蛋白质的总量和食入蛋白质在瘤胃中的降解率。本研究中，采食后由于饲粮中蛋白质的降解，瘤胃液总氮浓度迅速升高。随着瘤胃微生物生长对含氮物质的利用，总氮浓度下降，而微生物蛋白的不断合成使得瘤胃液总氮浓度又再次回升。3 种饲粮条件下绵羊食入蛋白质量基本相同，然而自然干燥的燕麦草通常具有较高的蛋白质瘤胃降解率[6]，而且饲喂燕麦干草后绵羊瘤胃液 pH 有所升高，更利于瘤胃微生物的生长和微生物蛋白的合成，因此，从平均值看，A2 组的瘤胃液总氮浓度显著高于 A1 组。瘤胃液 NH_3-N 是合成微生物蛋白的主要原料之一，影响 NH_3-N 浓度的主要因素是饲粮蛋白质降解特性和菌体蛋白合成速率[28]。瘤胃微生物的生长以及微生物蛋白的合成需要一个适宜的 NH_3-N 浓度，适宜浓度为 6.30~27.50 mg/dL[29]，本研究中瘤胃液 NH_3-N 浓度在 7.08~16.53 mg/dL，在微生物生长以及微生物蛋白的合成的适宜浓度范围内。饲粮蛋白质中降解速度快的部分在瘤胃中降解升高了 NH_3-N 浓度，之后蛋白质降解速率减慢，加上瘤胃微生物合成蛋白质对氨（NH_3）的利用，NH_3-N 浓度逐渐降低，在采食后 5 h 降至最低（表 6）；而随着微生物合成蛋白质速率放慢，NH_3 在瘤胃中不断地积累导致 NH_3-N 浓度又逐渐回升，采食后 7 h 快速增加，A1 组已接近采食前水平。瘤胃液尿素氮主要来源于饲粮中的尿素氮，而瘤胃微生物利用尿素氮合成微生物蛋白的能力和动物采食速度均会影响瘤胃尿素氮的浓度[26]。饲粮中的尿素氮在脲酶作用下被瘤胃微生物大量用来合成微生物蛋白，而微生物活性的下降又会降低尿素氮的利用率，所以会出现采食后瘤胃尿素氮浓度降低后又升高的现象（表 8）。从平均值看，粗饲料中燕麦干草的加入降低了绵羊瘤胃液 NH_3-N 和尿素氮浓度并显著提高了蛋白氮浓度，原因可能是采食含有燕麦干草饲粮的绵羊瘤胃内环境更有利于微生物的生长，而降解率高的燕麦干草能为瘤胃微生物区系的增殖提供较多的可利用能，促进瘤胃微生物的增殖和脲酶活性的增加，从而提高了对 NH_3 和尿素氮的利用率，合成更多的微生物蛋白。Ariza 等[30]也发现，饲粮中加入部分富含可溶性碳水化合物（WSC）的粗饲料可提高瘤胃微生物合成蛋白质的效率，降低瘤胃液 NH_3-N 浓度。

3.3 燕麦干草与全株玉米青贮不同组合对绵羊血清尿素氮浓度的影响

血清尿素氮浓度是衡量动物体内蛋白质代谢水平的一项重要指标，同时也能准确反映动物饲粮中氨基酸的平衡状况[31]。瘤胃液 NH_3-N 除了被用来合成微生物蛋白之外，还会有一部分经瘤胃上皮进入血液而成为血清尿素氮。Darlis 等[32]的研究表明，动物的血清尿素氮浓度与其瘤胃液 NH_3-N 浓度呈正相关。本研究结果与 Darlis 等[32]的结论一致，3 组绵羊的血清尿素氮浓度均随采食后时间的推移先升高后降低，与瘤胃液 NH_3-N 浓度的变化规律基本相同。粗饲料中燕麦干草的加入使得绵羊血清尿素氮浓度降低，是因为燕麦干草相对于全株玉米青贮更有利于绵羊瘤胃内环境稳态的维持，促进了瘤胃微生物的生长繁殖，从而增加了微生物利用 NH_3 合成微生物蛋白的量，导致瘤胃液 NH_3-N 的浓度下降，故血清尿素氮浓度也相应降低。

3.4 燕麦干草与全株玉米青贮不同组合对绵羊瘤胃 VFA 组成的影响

饲粮中的碳水化合物必须经过瘤胃微生物发酵生成 VFA 才能被动物体吸收，作为主要能源物质的 VFA，其产量、各 VFA 的摩尔比以及瘤胃发酵类型主要取决于饲粮的组成[33]。本研究中，绵羊瘤胃液的丙酸摩尔比在采食后 1 h 上升，然后缓慢下降，在采食后 7 h 接近采食前水平；乙酸和丁酸摩尔比均在采食后 1 h 下降，然后逐渐上升。从各 VFA 所占 TVFA 比例可以推算出，乙酸、丙酸和丁酸浓度育 TVFA 浓度在绵羊瘤胃液中的变化趋势是一致的，即采食后先升高再降低。动物食入饲粮后通过瘤胃发酵产生了大量 VFA，随着瘤胃微生物合成微生物蛋白对能量的利用加上瘤胃上皮的不断吸收，VFA 浓度逐渐下降[17]。本研究发现，从平均值看，粗饲料中燕麦干草的加入对绵羊瘤胃液 TVFA 浓度和丙酸摩尔比均未产生显著影响，但显著升高了乙酸、丁酸摩尔比及乙酸/丙酸，其中 A3 组乙酸、丁酸摩尔比和乙酸/丙酸显著高于 A1 组。反刍动物的瘤胃液 VFA 主要由乙酸、丙酸和丁酸组成，且三者占 TVFA 的 95%左右[34]，乙酸比例的增加有利于提高动物的体脂率和乳脂率，丙酸比例的增加有利于葡萄糖的转化和储存，丁酸则用为机体各组织供能[11]。本研究中，A3 组的乙酸和丁酸摩尔比平均值高于 A1 组，丙酸摩尔比平均值低于 A1 组，这可能是由于纤维素和半纤维素发酵产生的乙酸比例高，糖和淀粉发酵产生的丙酸比例较高[35]。粗饲料的类型不同，瘤胃微生物中纤维降解菌的数量和纤维降解酶活性都会有一定的差别，所产生的乙酸和丙酸比例也不同[36]。由于燕麦干草富含粗纤维和 WSC，而全株玉米青贮的淀粉含量较高，所以在精料水平相同的条件下，A3 组的瘤胃乙酸摩尔比和乙酸/丙酸显著高于 A1 组，同时 A3 组丙酸摩尔比较低。

4 结 论

① 精料相同、精粗比 35：65 条件下，粗饲料中燕麦干草的加入对绵羊的干物质采食量没有产生显著影响，但提高了瘤胃 NH_3 的利用率和瘤胃蛋白氮浓度，而且瘤胃液 pH 也略有升高。

② 粗饲料中燕麦干草的加入提高了绵羊瘤胃液中乙酸和丁酸的摩尔比，同时也升高了乙酸/丙酸。

③ 3 个燕麦干草与全株玉米青贮的组合中，以 50%全株玉米青贮+50%燕麦干草组合的综合效果最佳。

参考文献：

[1] 李志强.燕麦干草质量评价[J].中国奶牛,2013(19):1–3.

[2] 赵桂琴,慕平,魏黎明.饲用燕麦研究进展[J].草业学报,2007,16(4):116–125.

[3] 赵秀芳,李卫建,黄伟,等.燕麦干草品质的近红外光谱定量分析[J].光谱学与光谱分析,2008,28(9):2094–2097.

[4] 潘美娟.燕麦草、羊草及其组合 TMR 日粮对奶牛瘤胃消化代谢的影响[D].硕士学位论文.南京:南京农业大学,2007.

[5] 中国海关.1-11 月中国进口燕麦干草 19.86 万吨 同比增 48.20%[J/OL].[2016-12-30]..http://www.hesitan.com/kxyn_yngn/2016-12-30/194787.chtml.

[6] BRODERICK G A,YANG J H,KOEGEl R G,et al.Effect of steam treating alfalfa hay on its utilization by lactating dairy cows[J].Journal of Dairy Science,1993,76(1):165–174.

[7] GEORGE S K,DIPU M T,MEHRA U R,et al.Growth of crossbred bulls affected by level of feed intake[J].Indian Journal of Animal Nutrition,2005,22(2):81–84.

[8] LONG R J,DONG S K,HU Z Z,et al.Digestibility,nutrient balance and urinary purine derivative excretion in dry yak cows fed oat hay at different levels of intake[J].Livestock Production Science,2004,88(1/2):27–32.

[9] SINGH P,VERMA A K,SAHU D S,et al.Utilization of nutrients as influenced by different restriction levels of feed intake under sub-tropical conditions in crossbred calves[J].Livestock Science,2008,117(2/3):308–314.

[10] 梁晓兵,侯生珍,杨葆春,等.日粮中添加燕麦青干草对互助八眉二元母猪繁殖性能的研究[J].饲料工业,2013,34(17):20–23.

[11] 张瑛,周建伟,刘浩,等.藏羊瘤胃发酵参数对燕麦干草为饲粮限饲的响应及其氮维持需要量估测[J].动物营养学报,2014,26(2):371–379.

[12] 桑丹,孙海洲,付晓峰,等.燕麦青干草营养成分分析及活体外瘤胃发酵参数测定[J].畜牧与饲料科学,2010,31(5):45–46.

[13] 郭艳丽.含高果胶饲料及不同加工处理的饲粮对绵羊生产性能、瘤胃和血液代谢参数的影响[D].博士学位论文.兰州:甘肃农业大学,2004.

[14] 冯宗慈.通过比色法测定瘤胃液氨氮含量方法的改进[J].内蒙古畜牧科学,1993,4:40-41.

[15] 琚泽亮,赵桂琴,覃方锉,等.青贮时间及添加剂对高寒牧区燕麦—箭筈豌豆混播捆裹青贮发酵品质的影响[J].草业学报,2016,25(6):148–157.

[16] KUMAR S,DAGAR S S,SIROHI S K,et al.Microbial profiles,*in vitro* gas production and dry matter digestibility based on various ratios of roughage to concentrate[J].Annals of Microbiology,2013,63(2):541–545.

[17] 韩正康,陈杰.反刍动物瘤胃的消化和代谢[M].北京:科学出版社,1988.

[18] 冯仰廉.反刍动物营养学[M].北京:科学出版社,2004.

[19] 韩昊奇,刘大程,高民,等.不同 NFC/NDF 比对奶山羊瘤胃微生物及瘤胃 pH 变化的影响[J].动物营养学报,2011,23(4):597–603.

[20] 王洪亮,孙晓玉,赵福忠.黑龙江省常用粗饲料对肉牛瘤胃内环境的影响研究[J].中国牛业科学,2013,39(2):6–10.

[21] 米歇尔·瓦提欧.营养与饲喂[M].石燕,施福顺,译.北京:中国农业大学出版社,2004.

[22] BARGO F,MULLER L D,DELAHOY J E,et al.Milk response to concentrate supplementation of high producing dairy cows grazing at two pasture allowances[J].Journal of Dairy Science,2001,85(7):1777–1792.

[23] MOUND F L,ØRSKOV E R.Manipulation of rumen fluid pH and its influence on cellulolysis

in sacco,dry matter degradation and the rumen microflora in sheep offered either hay or concentrate[J].Animal Feed Science and Technology,1983,10(1):1–14.

[24] ΦRSKOV E R,RYLE E.反刍动物营养学[M].周建民,张晓明,王加启,译.北京:中国农业科技出版社,1992.

[25] 周瑞,赵生国,刘立山,等.饲粮中燕麦干草含量对绵羊瘤胃液 pH 及微生物区系的影响[J].动物营养学报,2016,28(5):1589–1597.

[26] 史清河,韩友文.全混合日粮对羔羊瘤胃代谢产物浓度变化的影响[J].动物营养学报,1999,11(3):51–57.

[27] 程胜利.不同营养水平颗粒料对育肥羔羊生产性能和瘤胃代谢的影响[D].博士学位论文.兰州:甘肃农业大学,2002.

[28] WICKERSHAM T A,TITGEMEYER E C,COCHRAN R C,et al.Effect of rumen-degradable intake protein supplementation on urea kinetics and microbial use of recycled urea in steers consuming low-quality forage[J].Journal of Animal Science,2008,86(11):3079–3088.

[29] ORTEGA M E,STERN M D,SATTER L D,et al.The effect of rumen ammonia concentrate on dry matter disappearance in situ[J].Journal of Dairy Science,1979,62(Suppl.1):76.

[30] ARIZA P,BACH A,STERN M D.Effects of carbohydrates from citrus pulp and hominy feed on microbial fermentation in continuous culture[J].Journal of Animal Science,2001,79(10):2713–2718.

[31] STANLEY C C,WILLIAMS C C,JENNY B F,et al.Effects of feeding milk replacer once versus twice daily on glucose metabolism in Holstein and Jersey calves[J].Journal of Dairy Science,2002,85(9):2335–2343.

[32] DARLIS N,ABDULLAH N,S HALIM R A,et al.Rumen parameters and urea kinetics in goats and sheep[J].Asian-Australasian Journal of Animal Science,2000,13(7):922–928.

[33] 汪水平,王文娟,王加启,等.日粮精粗比对奶牛瘤胃发酵及泌乳性能的影响[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2007,35(6):45–50.

[34] 刘洁,刁其玉,赵一广,等.饲粮不同 NFC/NDF 对肉用绵羊瘤胃 pH、氨态氮和挥发性脂肪酸的影响[J].动物营养学报,2012,24(6):1069–1077.

[35] YANG W Z,BEAUCHEMIN K A,RODE L M.Barley processing,forage:concentrate,and forage length effects on chewing and digest a passage in lactating cows[J].Journal of Dairy Science,2001,84(12):2709–2720.

[36] 罗佳捷,张彬,兰欣怡,等.动物生产中挥发性脂肪酸的研究进展[J].饲料博览,2012(3):10–12.

Effects of Different Combinations of Oat Hay and Corn Silage on Ruminal Fermentation of Sheep

ZHANG Biyang[1] ZHAO Guiqin[1,2,3,4*] JIAO Ting[1,2,3] CHAI Jikuan[1,2] GOU Zhiqiang[1] XU Xingze[1] YAN Chetai[1]

(1. *College of Prataculural Science*, *Gansu Agricultural University*, *Lanzhou* 730070, *China*; 2. *Key Laboratory of Grassland Ecosystem, Ministry of Education, Lanzhou* 730070, *China*; 3.

*Corresponding author, professor, E-mail: zhaogq@gsau.edu.cn (责任编辑 菅景颖)

Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province, *Lanzhou* 730070, *China*; 4. *Sino-US Center for Grazingland Ecosystem Sustainability*, *Lanzhou* 730070, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of different combinations of oat hay and corn silage on ruminal fermentation of sheep. Nine cross breed (Merino×Mongolian) ram with similar body condition and body weight (70.24±2.03) kg and fitted with permanent rumen cannulas were selected and divided into three groups with three sheep per group according to the weighting result of transitional period, and their diets were grouped as three according to the ratio of oat hay and corn silage in the roughage (dry matter basis), i.e., A1 (100% whole corn silage), A2 (50% oat hay+50% whole corn silage) and A3 (100% oat hay), and the concentrate-to-forage ratio of three diets was 35:65. A 3×3 Latin square design was used. Three trial periods were conducted with 22 days for each period (15 days for pretest and 7 days for formal test). Samples were taken at the last 3 days of the formal test. The results showed as follows: 1) compared with 100% whole corn silage, taking 50% oat hay+50% whole corn silage or 100% oat hay as roughage had no significant effects on pH and total nitrogen concentration in ruminal fluid, but significantly reduced the means of ruminal fluid urea nitrogen, ammoniacal nitrogen（NH_3-N）, and serum urea nitrogen concentrations ($P<0.05$); in the meantime, taking 50% oat hay+50% whole corn silage as roughage significantly increased the mean of protein nitrogen concentration in ruminal fluid ($P<0.05$). Besides, compared with A3 group, A2 group had slightly higher the means of ruminal fluid pH and total nitrogen concentration, lower ruminal fluid and serum urea nitrogen concentration means, and its ruminal fluid protein nitrogen concentration mean increased by 8.97%, but no significant differences in above indices were found ($P>0.05$). The mean of ruminal fluid NH_3-N concentration in A2 group was significantly lower than that in A3 group （$P<0.05$）. 2) Adding oat hay in diet did not change the mean of ruminal fluid total volatile fatty acid concentration and propionic acid molar ratio, but increased the mean of ruminal fluid acetate acid, butyric acid molar ratios and acetate/propionate （$P<0.05$）, and those in A3 group were significantly higher than those in A1 group （$P<0.05$）. In conclusion, base on the same concentrate and the concentrate-to-forage ratio of 35:65, mixing 50% oat hay with 50% whole corn silage in sheep diet can improve rumen environment, microbe growth and activity, increase ammonia (NH_3) utilization, help microbe protein synthesis, and also increase acetate acid molar ratio and acetate/propionate.

Key words: oat hay; ruminal fermentation; pH; nitrogen metabolism; volatile fatty acid